

12

Низкофоновый ТГЭУ для счета ультранизкой активности альфа-, бета- и рентгеновского излучения

© А.В. Копылов, И.В. Орехов, Е.П. Петров,
В.В. Петухов, А.А. Тихонов

Институт ядерных исследований РАН, Москва
E-mail: beril@inr.ru

Поступило в Редакцию 4 февраля 2010 г.

Изготовлен опытный образец толстослойного газового электронного умножителя (ТГЭУ) с использованием фольгированного фторопласта в качестве низкофоновый материала и измерены его рабочие характеристики. По результатам измерений разработана конструкция низкофоновый ТГЭУ для работы в режиме счета одноэлектронных импульсов.

Газовый электронный умножитель (ГЭУ) был изобретен Ф. Саули в 1996 г. [1]. Он представляет собой металлизированную с двух сторон пластину из диэлектрика, со сквозными отверстиями с плотностью от нескольких десятков до нескольких тысяч на квадратный сантиметр. Работа ГЭУ основана на принципе усиления в отверстиях, каждое из которых при приложении разности потенциалов к верхней и нижней металлизированной поверхности пластины работает как миниатюрный пропорциональный счетчик. При этом происходит фокусирование линий электрического поля внутри отверстия и именно в этой области развивается электронная лавина. Главное преимущество ГЭУ перед другими газовыми детекторами, работающими в лавинном режиме, состоит в возможности их каскадного соединения, что позволяет достичь высоких коэффициентов усиления. Это свойство ГЭУ особенно важно, когда речь идет о регистрации одноэлектронных импульсов. В настоящее время такие устройства нашли широкое применение как в научных исследованиях [2–5], так и в прикладных областях [6–7].

Одной из разновидностей ГЭУ является так называемый толстостенный газовый электронный умножитель (ТГЭУ). Если обычный ГЭУ имеет толщину порядка $50 \mu\text{m}$, то у ТГЭУ эта величина находится в диапазоне от 0.4 до 3 мм. Преимущество толстослойного ГЭУ над

обычным состоит в возможности достижения большего коэффициента усиления, что объясняется меньшей вероятностью пробоя между обкладками. Помимо этого, он более прост в изготовлении. В настоящее время для ряда задач фундаментальных и прикладных исследований представляют интерес низкофоновые детекторы альфа-, бета- и рентгеновского излучения. Использование ТГЭУ для измерения ультранизкой активности представляется перспективным по ряду причин. Из них следует особо выделить характерную особенность ТГЭУ, заключающуюся в оптическом разделении рабочей области детектора, где частицы теряют энергию на ионизацию, и области генерации лавин в поле высокого напряжения, что значительно понижает вероятность вторичной генерации заряда в рабочем объеме детектора. Выигрышным представляется также плоская геометрия детектора, гарантирующая малый краевой эффект. В частности, нами было показано, что такая геометрия ведет к снижению фона в области одноэлектронных импульсов [8].

Для низкофоновых детекторов очень важно использовать материалы с низким содержанием радиоактивности, прежде всего изотопов ^{40}K , ^{238}U и ^{238}Th с дочерними продуктами. Большинство описанных в литературе образцов ТГЭУ изготавливались из фольгированного стеклотекстолита по технологии производства печатных плат. Однако, поскольку такой материал содержит долгоживущие радиоактивные изотопы (например, ^{40}K), такие ТГЭУ нельзя использовать в низкофоновых детекторах. Поэтому для изготовления низкофоновых ТГЭУ мы использовали фторопласт, фольгированный с двух сторон медью. Известно, что фторопласт содержит низкие концентрации долгоживущих радиоактивных изотопов, а медь может быть очищена с помощью специально разработанных для этого технологий, среди которых наиболее известной является электролитическая очистка в подземных лабораториях с низким уровнем генерации космогенных изотопов. Такая технология позволяет в принципе получить чистоту материала на уровне 10^{-12} g/g по урану и торью. Однако по сравнению с текстолитом фторопласт имеет существенный недостаток — меньшую диэлектрическую постоянную, что приводит к снижению напряженности поля в каналах ТГЭУ при заданной разности потенциалов между электродами и ограничивает получение высоких коэффициентов газового усиления. Для нас это представляется особенно важным ввиду того, что мы планируем использовать ТГЭУ также для счета одноэлектронных импульсов, в частности для регистрации малого энерговыделения (примерно 50 eV) от Оже-электрона, сопровождающего распад ^7Be , происходящий путем

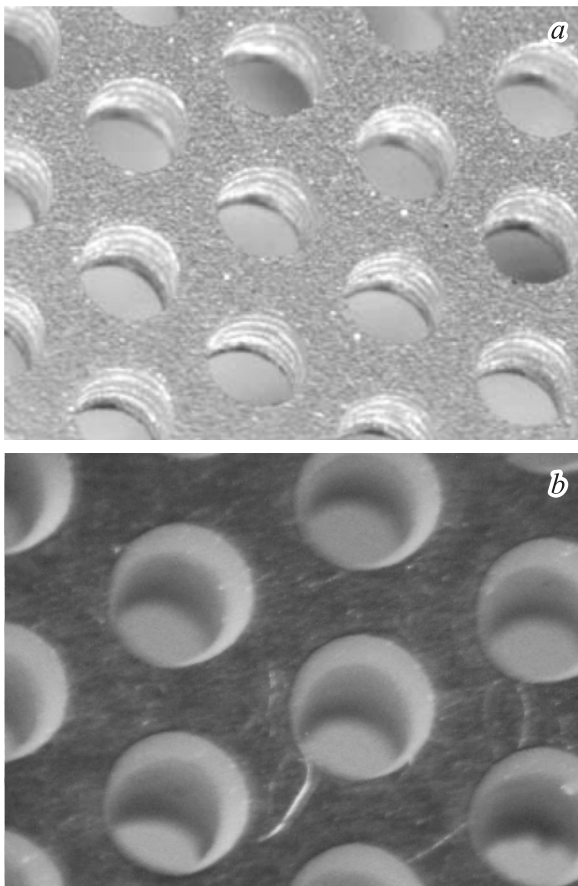


Рис. 1. Фрагменты ТГЭУ, изготовленных по технологии печатных плат: *a* — из фольгированного стеклотекстолита; *b* — из фольгированного фторопласта.

электронного захвата с *K*-оболочки атома. С учетом того, что в газах на ионизацию с образованием одного электрона необходимо затратить в среднем 20–30 eV, это означает, что приходится работать в режиме счета одноэлектронных импульсов.

Целью данной работы было изготовить образец ТГЭУ из фольгированного фторопластового листа и по результатам измерения на этом

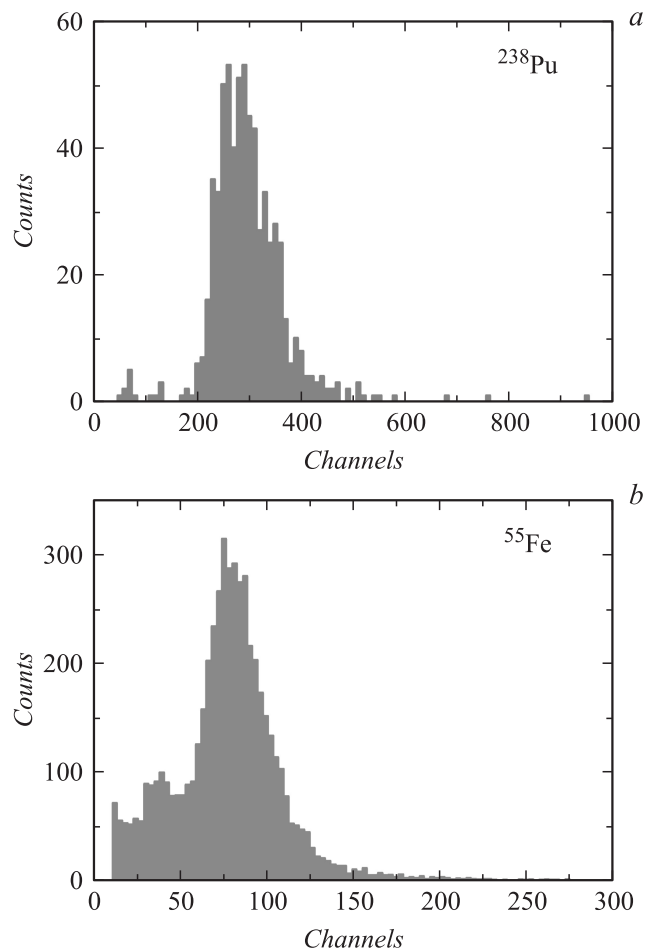


Рис. 2. Спектры, измеренные в двухкаскадном ТГЭУ при $\Delta V_{\text{THGEM}} = 875 \text{ V}$: *a* — α -частиц ^{238}Pu , *b* — рентгеновского излучения ^{55}Fe .

образце определиться с конструкцией детектора для счета одноэлектронных импульсов. В дальнейшем такой детектор можно будет использовать для измерения ультранизкой активности ^7Be , генерируемого солнечными нейтрино в литиевой мишени [9]. На рис. 1 представлена фотография изготовленного нами из фольгированного фторопласта

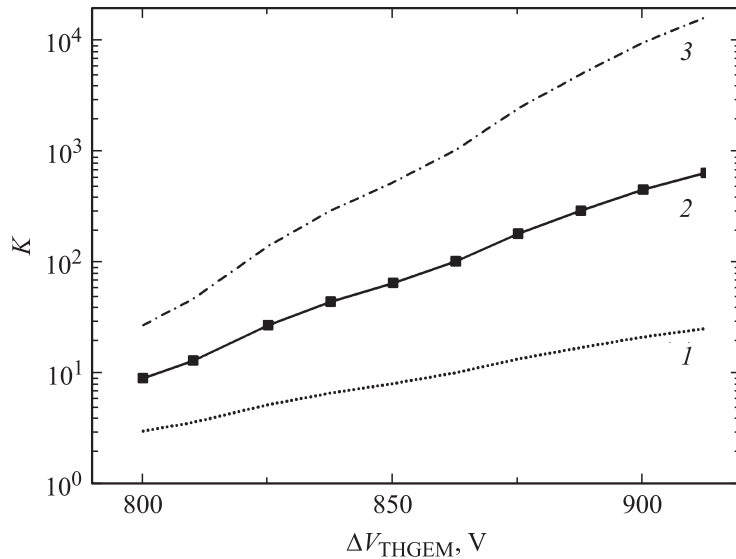


Рис. 3. Зависимость полного коэффициента усиления различных ТГЭУ от разности потенциалов на электродах: 1 — однокаскадный (расчет), 2 — двухкаскадный (измерение), 3 — трехкаскадный (расчет).

ФФ-4 элемента ТГЭУ с каналами генерации лавин диаметром 0.8 mm и ТГЭУ, изготовленного из стеклотекстолита G-10 [10].

Видно, что отверстия во фторопласте не имеют неровностей, образующихся при сверлении стеклотекстолита, что существенно снижает вероятность возникновения пробоев и уменьшает разброс коэффициентов усиления для различных отверстий. Измерения проводились на двухкаскадном ТГЭУ, в качестве рабочего газа использовалась смесь $\text{Ar} + 10\% \text{CH}_4$ при общем давлении смеси 0.015 МПа. Два блока высокого напряжения (один в катодной части ТГЭУ, другой — в его анодной части) позволяли независимо варьировать напряженности поля в двух частях детектора. Заряд, собираемый на аноде, поступал через разделительный конденсатор на вход зарядочувствительного предусилителя с чувствительностью 0.5 V/pC и далее на усилитель со временем формирования 1 μs . Усиленный сигнал регистрировался с помощью амплитудного анализатора. На рис. 2, а представлен амплитудный спектр

от калибровочного альфа-источника (^{238}Pu), на рис. 2, *b* — аналогичный спектр от источника рентгеновского излучения ^{55}Fe .

Детектор показал устойчивую работу как с большим (альфа-частицы), так и с малым (рентгеновское излучение) энерговыделением. На рис. 3 представлены кривые зависимости коэффициента газового усиления как функция разности потенциалов между электродами одного каскада ТГЭУ.

Средняя кривая представляет результаты измерения, нижняя и верхняя кривые — результаты расчета для одно- и трехкаскадного ТГЭУ. Отсюда видно, что для счета одноэлектронных импульсов можно использовать как двух-, так и трехкаскадный ТГЭУ, но, по-видимому, второй вариант более предпочтителен, так как в этом случае требуется менее высокое напряжение между электродами и, следовательно, меньше вероятность пробоя. Для длительных измерений в случае мониторинга ультранизкой активности это представляется особенно важным.

Работа была выполнена при поддержке гранта Ведущих научных школ LSS-1786.2003.2, программы фундаментальных исследований президиума РАН „Нейтронная физика“ и гранта РФФИ № 07-02-00136.

Список литературы

- [1] *Sauli F.* // Nucl. Instr. and Meth. 1997. V. A386. P. 531–534.
- [2] *Fenker H. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. 2008. V. A592. P. 273–286.
- [3] *Killenbergh M. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. 2008. V. A573. P. 183–186.
- [4] *Aulchenko V.M., Bondar A.E., Buzulutskov A.F. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. 2002. V. A494. P. 241–245.
- [5] *Rubbia A.* // J. of Phys. Conf. Ser. 2006. V. 39. P. 129–132.
- [6] *Hohlmann M. et al.* // ArXiv:0911.3203 (physics.ins-det).
- [7] *Simon A. et al.* // Nucl. Sci. Symp. Conf. Rec. 2005. IEEE. V. 5. P. 2770–2774.
- [8] *Гаврин В.Н., Захаров Ю.И., Петухов В.В.* // Препринт ИЯИ П-0544. М.: 1987.
- [9] *Копылов А.В., Орехов И.В., Петухов В.В., Соломатин А.Е.* // ЖТФ. 2009. Т. 79. В. 7. С. 133–136.
- [10] *Chechik R., Breskin A.* // ArXiv:0806.2086 (physics.ins-det).